Transports Canada | Transport Canada
Développement | Development

TP 7523F

Table de renversement
Manuel de conception

Préparé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

par le
Centre de recherche industrielle du Québec

MARS 1986

CA1
DTC 801
86
T37Z
c.2

Canada

TP-7523F

TABLE DE RENVERSEMENT
MANUEL DE CONCEPTION

Dossier CRIQ no 543-0076

Rapport technique no MEC-86-041

Mars 1986

FC-4480

Transports Canada

PRÉPARÉ POUR LE:

Centre de développement des transports,
Transports Canada

RESPONSABLE DU PROJET:

INGÉNIEUR
Jean T. Bédard
QUÉBEC

Jean T. Bédard, ing

JEAN T. BÉDARD, Ing.
Équipements et Syst. mécaniques

Mars 1986

C.G. _____

D.S. _____

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

AVERTISSEMENT

"Le contenu du présent rapport ne reflète que les opinions de l'auteur et ne saurait en aucun cas engager les politiques et positions officielles du Centre de recherche et de développement, Transports Canada."

AVIS

An English summary of this report is included immediately preceding the table of contents.

Also available in English "Tilt table - Design manual", TP 7523E.

CRIQ

ÉQUIPE DE RECHERCHE

L'équipe de recherche du Centre de recherche industrielle du Québec se composait de:

MM. Jean T. Bédard, ing.
Claude Sauvageau, ing.
Ioan Constantinescu, ing.
Paul Michaud, ing.
Yves Breault
Alain Gaudreault
Jean-Guy Noël
Jacques Aubin
et autres

CRIQ

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 7523F	CDT 6287	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Table de renversement - Manuel de conception	Mars 1986
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant MEC-86-041

7. Auteur(s)	8. N° de dossier Transports Canada
Jean T. Bédard, ing.	D1465-421-2

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) 333, rue Franquet, C.P. 9038 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7	11SD.T8200-4-4524
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada OSD84-00145

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports 200, boul. Dorchester ouest Tour Ouest, Suite 601 Montréal (Québec) H2Z 1X4	Final
	14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Voir également "Table de renversement - Manuel de l'usager" - TP 7522F, mars 1986	Lewis Sabounghi

17. Résumé

Une table de renversement a été conçue, construite et mise sur pied pour Transports Canada. Cet équipement d'essai est essentiellement une plate-forme inclinable latéralement sur laquelle montent les véhicules lourds afin de déterminer leur seuil de renversement.

Ce rapport explique la conception de la structure, des systèmes hydraulique et électrique et des plateaux de mesure. Les capacités de la table elle-même et des plateaux de mesure y sont données de même que la liste complète des dessins.

Finalement, certaines recommandations sont présentées en vue de la construction éventuelle de nouvelles tables de renversement.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Table de renversement, stabilité des véhicules	Copies disponibles au Centre de développement des transports

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifié	Non classifiée	44 + annexes	

CDT TDC 79-005

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7523F	TDC 6287	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Table de renversement - Manuel de conception	March 1986
	6. Performing Organization Report No. MEC-86-041

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Jean T. Bédard, eng.	D 1465-421-2

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) 333, rue Franquet, C.P. 9038 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7	11SD.T8200-4-4524
	11. DSS or Transport Canada Contract No. OSD84-00145

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 Dorchester Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal Quebec H2Z 1X4	Final
	14. Sponsoring Agency Code

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
See also "Tilt Table - User's Manual", TP 7522E, March 1986	Lewis Sabounghi

17. Abstract

A tilt table has been designed, built and installed for Transport Canada. This test equipment is basically a laterally tilting platform on which heavy vehicles are driven and inclined in order to determine their rollover threshold.

This report describes the design of the structure, the hydraulic and electrical systems and the weighing pads. The load limits of the table and the weighing pads are provided along with a list of drawings.

Finally, recommendations are made for the design of future tilt tables.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Tilt table, vehicle stability	Copies available from the Transportation Development Centre (TDC).

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	44 + appendixes	

TDC CDT 79-005

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier pour leurs conseils et leur collaboration le personnel de Transports Canada, de l'Association des routes et transports du Canada et du Conseil national de la recherche, tout particulièrement L. Sabounghi, J. Pearson, J. Woodroffe, J. Erickson, R. Malo et J. Beaulieu.

CRIQ

SOMMAIRE

Le présent rapport décrit la conception d'une table de renversement conçue et construite pour Transports Canada. Cette table est un appareil d'essai constitué essentiellement d'une plate-forme inclinable latéralement sur laquelle montent les camions lourds afin de déterminer leur seuil de renversement.

La structure métallique soudée a été prévue pour accepter tous les camions lourds admis à circuler sur nos routes. Dans le but de la rendre facilement déménageable, elle se compose de deux sections de 12,2 m de longueur par seulement 4,3 m de largeur. Chaque section comprend une base supportée par des pieds ajustables et une plate-forme inclinable latéralement jusqu'à 35 degrés.

Chaque demi-plate-forme est actionnée par deux vérins hydrauliques synchronisés; la pompe hydraulique est entraînée par un moteur à combustion interne afin de rendre l'ensemble autonome. Le circuit électrique comprend, en plus des éléments courants, un ensemble d'interrupteurs agissant sur les électrovalves hydrauliques et servant à maintenir la bonne synchronisation des quatre vérins.

Notre expérience avec cette table lors des premiers essais de renversement a démontré que celle-ci répondait bien aux exigences; cependant, si l'on devait construire de nouvelles tables, il est recommandé de réévaluer certains aspects du concept afin d'améliorer le fonctionnement de cette table.

CRIQ

SUMMARY

This report describe the design of a tilt table designed and built for Transport Canada. This table is a test apparatus basically composed of a laterally tilting platform on which heavy trucks are driven on and tilted in order to determine their rollover threshold.

The welded structure has been designed to accept all the heavy trucks currently allowed to run on Canadian roads. In order to make it easily movable, the table has two sections 12.2 m long by only 4.3 m wide. Each section comprises one base supported by a series of adjustable supports and one platform tilting laterally up to 35 degrees.

Each platform is tilted by two synchronized hydraulic cylinders; the hydraulic pump is driven by an internal combustion engine which makes the unit self-sufficient. The electrical circuit comprises, in addition to the basic elements, a series of switches acting on the hydraulic valves in order to maintain the synchronisation of the four hydraulic cylinders.

Our experience with this table during the first series of tilt tests has demonstrated that it was up to the specifications. However, if new tables have to be built, it is recommended to re-evaluate some aspects of this design in order to further improve the functioning of this table.

CRIQ

TABLE DES MATIÈRES

Page

1.0 DESCRIPTION GÉNÉRALE 1

1.1 Conception de la table de renversement 1
1.2 Spécifications générales 2

2.0 STRUCTURE MÉCANIQUE DE LA TABLE 4

2.1 Conception de la structure 4
2.2 Définition des cas de charge 4
2.3 Analyse statique 6
2.4 Analyse dynamique 7

3.0 SYSTÈME HYDRAULIQUE 8

3.1 Principe de fonctionnement 8
3.2 Calcul des principales composantes 9
3.3 Installation 11

4.0 SYSTÈME ÉLECTRIQUE 13

4.1 Principe de fonctionnement 13
4.2 Installation 14

5.0 PLATEAUX DE PESAGE 15

5.1 Conception 15
5.2 Capacité de chaque plateau de pesage 16

6.0 DESSINS 17

6.1 Dessins de la structure 17
6.2 Dessins des plateaux de pesage 17
6.3 Dessins du système électrique 17
6.4 Dessins du systeme hydraulique 17

7.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 18

RÉFÉRENCES 20

Annexe A - Pression dans un cylindre vs position de la charge
Annexe B - Contraintes mesurées sur la structure de la table de renversement

CRIQ CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

LISTE DES FIGURES

Page

FIGURE 1 - Table de renversement 23

FIGURE 2 - Ensemble de la table de renversement 24

FIGURE 3 - Structure principale d'une plate-forme 25

FIGURE 4 - Schéma hydraulique 26

FIGURE 5 - Groupe hydraulique 27

FIGURE 6 - Schéma électrique 28

FIGURE 7 - Ensemble des équipements électriques 29

FIGURE 8 - Résultante maximale des charges sur une plate-forme en fonction de la position 30

CRIQ

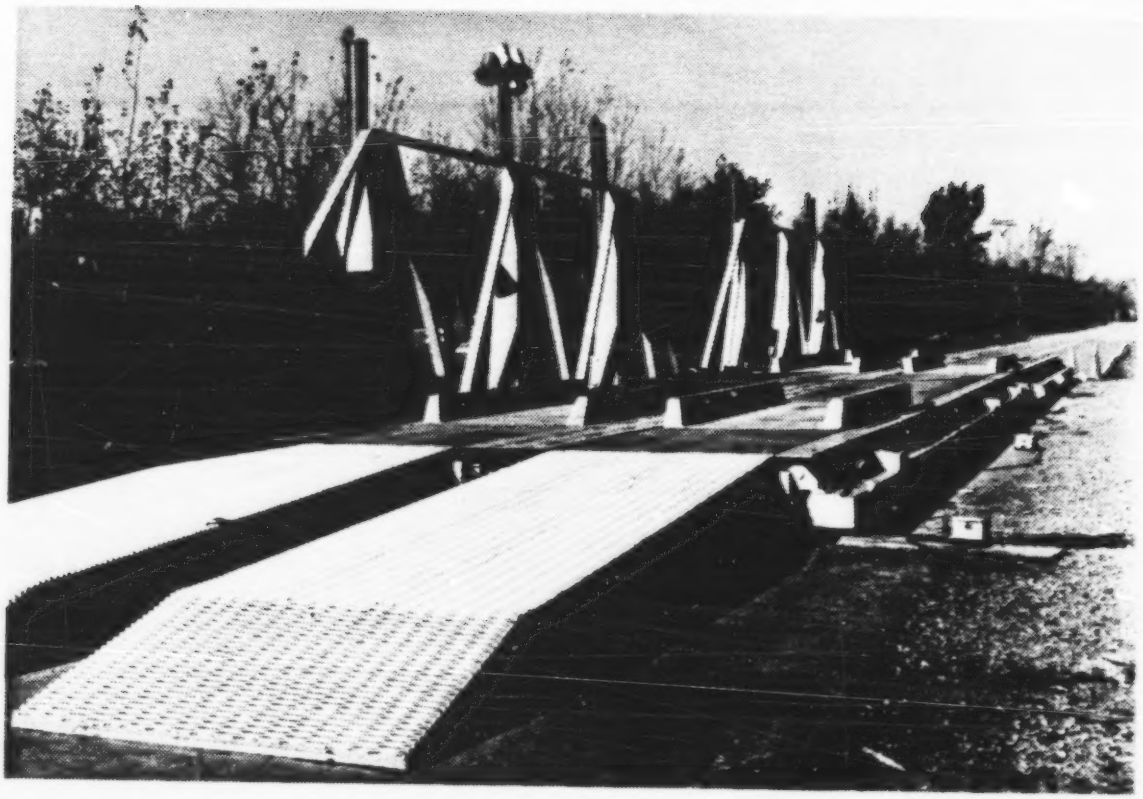


TABLE DE RENVERSEMENT

CRIQ

1.0 DESCRIPTION GÉNÉRALE

1.1 Conception de la table de renversement

Une table de renversement est un appareil d'essai servant à mesurer le seuil de renversement d'un véhicule, spécialement celui des camions de transport lourd et des autobus. Essentiellement, c'est une plate-forme inclinable latéralement sur laquelle on installe le véhicule à l'essai et on l'incline jusqu'à ce qu'une ou plusieurs roues du côté haut de la plate-forme se soulèvent. En inclinant ainsi le véhicule, on simule une accélération latérale semblable à celle à laquelle celui-ci est soumis lorsqu'il négocie une courbe à vitesse constante. La seule différence se retrouve dans la force perpendiculaire au sol laquelle demeure constante dans un virage mais diminue en fonction du cosinus de l'angle d'inclinaison sur une table de renversement. Comme les véhicules lourds en charge se renversent à un angle d'environ 25 degrés, la diminution de la charge perpendiculaire au sol est moins que 10%; ceci occasionne très peu de relèvement du centre de gravité car le retour des suspensions est faible. L'accélération latérale simulée par l'inclinaison du véhicule reste donc représentative de celle ressentie dans un virage à vitesse constante sur une surface horizontale.

La table de renversement conçue pour Transports Canada est facilement transportable et elle peut être installée sur toute surface approximativement de niveau et offrant une résistance adéquate pour la circulation des véhicules lourds.

La table est conçue de façon modulaire; elle est composée de deux sections similaires comportant chacune une base et une plate-forme inclinable. La base possède douze pieds-supports ajustables en hauteur ce qui permet de mettre au niveau le dessus de la plate-forme malgré les irrégularités du sol. Chacune des plates-formes est pivotée autour d'un côté de la base par l'action de deux vérins à extension synchronisée. Quatre rampes d'accès, installées à chaque extrémité, permettent au véhicule de facilement monter et descendre de la table sur son propre pouvoir. Les deux bandes de roulement sont prévues pour l'installation de plateaux de pesage n'importe où le long de la table. Dans sa version originale, cinq plateaux de pesage équipent la table; lors de l'essai d'un camion lourd typique, deux sont généralement installés sous les essieux de la remorque, deux sous le tandem des roues motrices du tracteur et un sous une roue de l'essieu avant.

CRIQ

Un groupe hydraulique entraîné par un moteur à combustion interne et un ensemble de commandes et contrôles électriques complètent l'équipement de la table de renversement. Les figures 1 et 2 montrent l'ensemble de la table de renversement telle qu'elle se présente lors de son utilisation.

Il sera possible dans le futur, si besoin il y a, d'allonger la table en y ajoutant une autre section et/ou d'augmenter le nombre de plateaux de pesage.

1.2 Spécifications générales

1.2.1 DIMENSIONS

Longueur hors tout	- 33,6 m (110 pi)
Largeur hors tout	- 4,3 m (14 pi)
Hauteur hors tout (abaissée)	- 3,25 m (128 po)
Longueur hors tout des deux plates-formes	- 24,4 m (80 pi)
Largeur de la voie	- jusqu'à 2,9 m (114 po)
Hauteur de la plate-forme par rapport au sol	- min. 42,2 cm (16,6 po) max. 54,6 cm (21,5 po)
Angle d'inclinaison max.	- 35 degrés

1.2.2 SYSTÈME HYDRAULIQUE

Moteur	- diesel 60 HP
Pompe	- à pistons à débit compensé 113 l/min à 13,8 MPa, 1800 rpm (30 gpm à 2000 psi, 1800 rpm)
Réservoir	- 200 litres
Réservoir carburant	- 100 litres
Cylindres	- alésage 12,7 cm (5 po) course 236,2 cm (93 po) distance entre pivots: 30,5 cm (12 po) fermé 266,7 cm (105 po) ouvert pression max.: 13,8 MPa (2000 psi)

1.2.3 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

Charge maximale totale	- 135 000 kg (voir note)
Charge axiale maximale	- 12 000 kg
Vitesse de levage	- ajustable de 15 à 30 degrés/minute

CRIQ

Vitesse de descente	- ajustable à environ 15 degrés/minute et moins; dépend de la température de l'huile et de la charge.
Synchronisation des vérins	- par diviseur de débit à engrenages plus système de correction du niveau de chaque plate-forme et de la hauteur des deux plates-formes.
Variation max. de l'inclinaison transversale	- 0,5 degré
Inclinaison longitudinale maximale	- 7,6 cm sur 12,2 m (3 po sur 40 pi)

NOTE: La charge maximale dépend de la position de cette dernière sur chaque plate-forme; la figure 8 donne la résultante maximale sur une plate-forme en fonction de sa position longitudinale.

CRIQ

2.0 STRUCTURE MÉCANIQUE DE LA TABLE

2.1 Conception de la structure

La structure de chaque module de la table de renversement est composée de deux pièces principales: une base et une plate-forme inclinable. Étant donné que, lorsqu'un véhicule est mis à l'essai, la base reçoit une surcharge du côté des pivots, la structure de ce côté est renforcée par l'addition d'une poutre longitudinale en I. Du côté des vérins, la poussée de ceux-ci s'exerce en deux points seulement. On a donc prévu des pieds-supports de part et d'autre de chaque point d'appui des vérins. La base est supportée par douze pieds-supports, cinq du côté des pivots et sept du côté des vérins.

La structure de chaque plate-forme est composée de deux ensembles de pièces lui assurant sa rigidité longitudinale et transversale. Tout d'abord, la rigidité dans le sens de la longueur est assurée par deux ensembles de pièces longitudinales importantes. Du côté des pivots, une poutre en Z formée de deux angles soudés l'un à l'autre est jointe à la base par cinq pivots et forme avec cette dernière un ensemble ayant une excellente résistance à la flexion. Sur le côté des vérins, une série de tubes forment un mur très rigide qui reprend la charge de chaque traverse et la reporte sur les deux vérins. Transversalement, plusieurs poutres en H relient les deux côtés rigides de chaque plate-forme. Cette structure demeure flexible en torsion ce qui permet d'éviter l'apparition de contraintes excessives si les vérins sont, pour une raison ou l'autre, de longueurs différentes. La figure 3 montre le squelette d'une plate-forme.

2.2 Définition des cas de charge

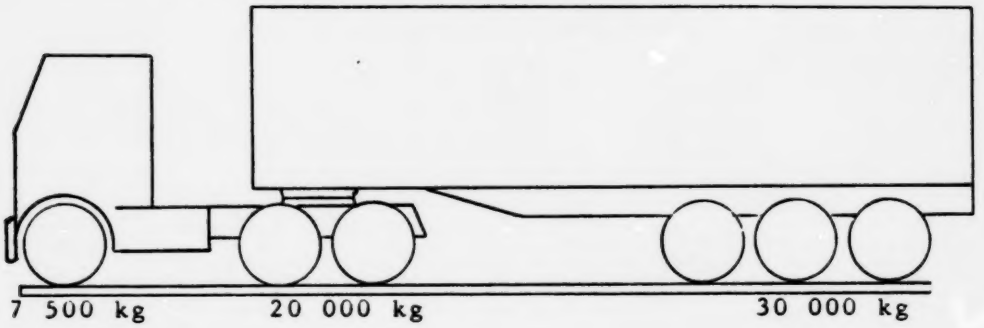
La table étant prévue pour les véhicules routiers, nous avons examiné les différentes configurations de camions et d'essieux permises par la loi afin de trouver celles qui pouvaient occasionner le plus de contraintes à la structure de la table et à ses composants accessoires.

Au Canada, les charges légales sont régies par deux limites, soit la masse totale en charge [MTC] (gross vehicle weight [GVW]) et les charges sur chaque essieu, charges axiales. Pour une semi-remorque typique, la masse totale en charge légale la plus élevée au pays est de 57 500 kg. Lorsque l'espacement des essieux excède le

CRIQ

minimum requis, les charges axiales légales les plus élevées atteignent 10 000 kg pour un essieu avec pneus jumelés.

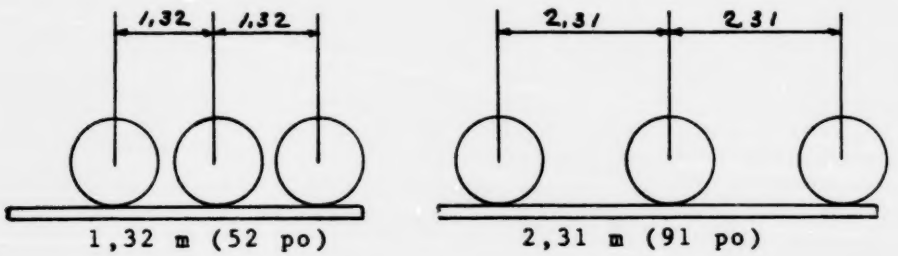
Comme premier cas de charge, nous avons considéré un camion semi-remorque de 57 500 kg masse totale et assez court pour loger sur une seule plate-forme. La charge de l'essieu avant a été fixée à 7 500 kg, celle du tandem à 20 000 kg et celle du groupe de trois essieux de la remorque à 30 000 kg. Nous avons également supposé que l'espacement des essieux était de 1,2 m seulement même si normalement, il est illégal de transporter 10 000 kg par essieu avec une aussi courte distance entre les essieux. Ce véhicule ressemblerait au croquis suivant:



12,2 m

CAS DE CHARGE I

Le second cas de charge étudié fut un groupe de trois essieux chargés de 30 000 kg localisé près du bout d'une plate-forme et étant la seule charge sur cette plate-forme. Deux espacements d'essieux furent considérés, soit 1,32 m et 2,31 m.



1,32 m (52 po) 2,31 m (91 po)

IIa IIb

CAS DE CHARGE II

CRIQ

Comme dernier cas de charge, nous avons examiné ce qui arriverait aux contraintes dans la structure de la table si un vérin devenait 15 cm (6 po) plus court que son voisin alors que cette plate-forme est chargée d'un camion court de 57 500 kg (cas de charge I).

2.3 Analyse statique

Les résultats des calculs par éléments finis de la structure de la table sont présentés dans le rapport technique CRIQ no PRT-85-068 (réf. 1).

Il est difficile de résumer tous les résultats en quelques lignes mais nous pouvons, à titre d'information, donner les contraintes maximales calculées pour les différents cas de charge.

Cas I	(camion 57 500 kg)	18 500 psi
Cas IIa	(3 ess. 30 000 kg, 1,32 m)	22 800 psi
Cas IIb	(3 ess. 30 000 kg, 2,61 m)	19 700 psi
Cas III	(15 cm de torsion)	18 800 psi*

* Les calculs ont montré jusqu'à 32 000 psi à la base des poteaux en forme de U enveloppant les cylindres. Cependant, la modélisation de cette région ne tient pas compte de plaques additionnelles qui prennent les forces de flexion autour du cylindre et diminuent de beaucoup les contraintes. D'ailleurs, les mesures expérimentales ont confirmé des contraintes peu élevées dans cette région.

Ceci représente un facteur de sécurité de 1,9 par rapport à la limite élastique du matériel utilisé.

Durant les essais, 10 jauges de contraintes ont été installées aux endroits ayant démontré les contraintes les plus élevées lors des calculs. Avec une charge de 23 500 kg sur un tandem positionné à différents endroits le long d'une plate-forme, nous avons mesuré des contraintes maximales de seulement 9 060 psi. Si on extrapole pour une charge de 30 000 kg, on aurait mesuré 11 565 psi comparativement à près de 20 000 psi prévus par les calculs. Ceci prouve que le modèle mathématique était conservateur et que les pièces négligées dans la modélisation, plaques de revêtement, renforts, etc. prennent une bonne partie de la charge soulageant ainsi les pièces principales.

2.4 Analyse dynamique

Le comportement dynamique de la table de renversement a également été étudié à l'aide d'un modèle d'analyse par éléments finis.

Dans un premier temps, on a calculé les fréquences naturelles de la structure de la table sans autre charge que son poids propre. Les résultats obtenus pour les six premiers modes de vibrations donnent des fréquences de 15,1, 15,9, 16,4, 20,0, 26,2 et 27,0 Hz. Ces fréquences sont toutes beaucoup plus élevées que les fréquences naturelles que l'on est susceptible de rencontrer sur les camions; la table ne devrait donc pas présenter des problèmes de résonance.

Par la suite, on a essayé de voir ce que seraient les fréquences naturelles des premiers modes de vibrations si un camion typique était rigidement attaché à la table. On a obtenu des fréquences de 5,4, 5,7, 6,3, 6,9, 7,9 et 11,1 Hz. Ces fréquences sont encore suffisamment élevées mais il n'est pas très réaliste de supposer que toute la masse du camion est attachée à la structure de la table aux points de contact des roues avec la plate-forme. Le mouvement des suspensions isole la masse du camion de celle de la structure et permet à cette dernière des mouvements plus rapides.

Afin d'avoir une meilleure représentation du comportement de la table en régime dynamique, on a simulé un camion de façon sommaire en attachant des masses à la table par l'intermédiaire de ressorts lesquels, masses et ressorts, représentent un camion supporté par trois essieux. Les premiers modes de vibrations pour cet ensemble sont à beaucoup plus basses fréquences 1,1, 1,6, 1,7, 2,6, 2,9 et 6,6 Hz mais ils correspondent aux fréquences propres du camion et non à celles de la table car la très grande partie des déplacements est au niveau du camion et non au niveau de la table elle-même. Ceci confirme que l'on pourra, lors d'essais dynamiques, exciter les modes vibratoires des camions sans provoquer la résonance de la table.

Avec les contraintes calculées en régime dynamique, on a estimé que la charge dynamique que peut supporter une plate-forme est d'environ 85 000 kg (187 600 lb). Ceci permettrait de donner une accélération de 0,47 G à un camion de 57 500 kg (126 800 lb). Le rapport CRIQ no PRT-85-068 (réf. 1) donne plus de détails sur cette analyse dynamique.

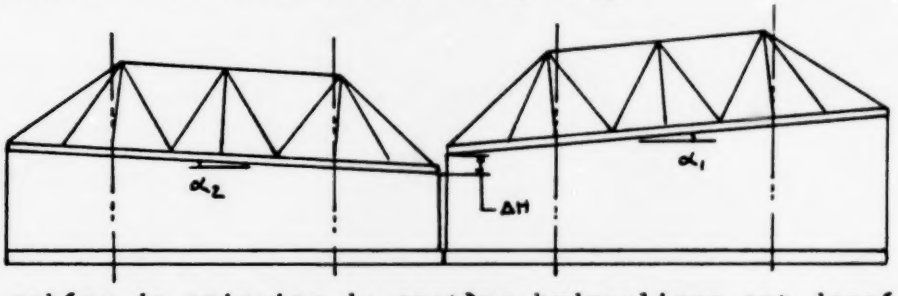
3.0 SYSTÈME HYDRAULIQUE

3.1 Principe de fonctionnement

Le bon fonctionnement de la table de renversement repose sur un mouvement synchronisé des quatre vérins. En effet, si on désire soumettre chaque partie d'un véhicule à une accélération latérale identique, il faut que toute la surface où reposent les essieux du véhicule demeure dans un même plan ayant une inclinaison latérale uniforme.

Comme il était impensable de fabriquer une table suffisamment rigide en torsion pour que celle-ci puisse assurer à elle seule l'uniformité de l'inclinaison, nous avons choisi de contrôler la position des plates-formes en contrôlant la longueur de chaque vérin.

La synchronisation des vérins est assuré par deux systèmes complémentaires. Un diviseur d'écoulement à engrenages effectue la première, et plus importante, division de la quantité d'huile destinée aux vérins. Un autre système vérifie constamment le niveau longitudinal de chaque plate-forme α_1 et α_2 et la différence de hauteur entre les deux plates-formes ΔH ; il corrige en abaissant les vérins trouvés trop longs.



Le schéma de principe du système hydraulique est donné à la figure 4. Il montre que tout le fluide hydraulique doit passer par le diviseur à engrenages lors de la montée et la descente de la table. Normalement, les pressions aux sorties du diviseur sont relativement égales et la division est très bonne car elle dépend alors seulement de la précision de la fabrication mécanique des quatre pompes à engrenages. Cependant, lorsque les pressions diffèrent, le rendement des engrenages travaillant comme pompe ou comme moteur est différent et ceci génère des différences de débit pouvant atteindre 10 à 15%. C'est pourquoi on doit intervenir avec un système de correction complémentaire.

CRIQ

Ce système de correction complémentaire est basé sur un drainage relativement lent des cylindres détectés trop longs jusqu'à ce qu'ils reviennent à une longueur égale à celles des autres cylindres. En examinant le schéma hydraulique de la figure 4 et le schéma électrique de la figure 6, on voit que lorsque la plate-forme no 1 par exemple penche vers la gauche parce que le cylindre no 1 est plus long que le cylindre no 2, l'interrupteur S1 se ferme et alimente la valve d'égalisation EQ1. Le cylindre no 1 perd donc de l'huile au drain et la plate-forme revient au niveau. Chaque plate-forme possède cet ajustement de niveau et entre les deux plates-formes, l'interrupteur double action S5 détecte la différence de hauteur entre les plates-formes; S5 agit sur les deux cylindres de la plate-forme trop haute.

Une série d'interrupteurs auxiliaires entrent en action lorsque le manque de niveau devient trop grand ou que la différence de hauteur des deux plates-formes excède une limite pré-établie. Ces interrupteurs déclenchent une alarme indiquant à l'opérateur que le système de correction ne réussit pas à maintenir les plates-formes à l'intérieur des limites établies et qu'il doit arrêter le mouvement de la table afin de laisser au système plus de temps pour réagir. Si la condition persiste, il doit identifier et corriger le problème.

Le débit correcteur est ajustable; il doit corriger rapidement le manque de synchronisation mais sans toutefois provoquer l'oscillation des plates-formes. Par contre, lorsque le débit correcteur n'est pas assez grand, on risque d'être arrêté plus souvent par l'alarme.

Lorsque la charge est bien répartie sur les deux plates-formes, la pression dans tous les vérins est approximativement égale; le diviseur de débit fait alors un excellent travail et les corrections sont peu fréquentes. C'est une condition idéale d'opération que l'on doit s'efforcer d'atteindre car le mouvement des plates-formes est plus uniforme.

3.2 Calcul des principales composantes

3.2.1 CALCUL DES VÉRINS

Les spécifications de la table exigeaint une capacité de 91 000 kg (200 000 lb) pour les deux plates-formes, soit 45 500 kg (100 000 lb) pour chaque plate-forme.

CRIQ

Lorsque la charge est bien répartie, cette condition impose seulement 22 750 kg par vérin. En gardant en mémoire que les charges sur la table sont toujours des véhicules lourds dont les essieux peuvent être localisés n'importe où le long des plates-formes, on voit que la pire condition est atteinte lorsqu'un groupe d'essieux se trouve tout près de l'extrémité d'une plate-forme. En effet, le vérin près de cette extrémité doit supporter non seulement la charge totale, mais une plus grande partie du poids propre de la plate-forme.

Les calculs des charges sur les vérins avaient indiqué que des vérins d'un diamètre de 12,7 cm (5 po) permettraient de soulever les charges maximales prévues sans excéder une pression de 13,8 MPa (2000 psi).

Des mesures expérimentales de pression dans un vérin, pour deux charges différentes et plusieurs positions d'un groupe d'essieux par rapport à l'extrémité de la table, ont permis d'établir la valeur maximale de la résultante des charges sur une plate-forme en fonction de la position longitudinale de cette dernière. Cette limite répond à deux critères: pression maximale dans un vérin limitée à 13,8 MPa (2000 psi) et jamais de pression négative dans l'autre vérin. Les résultats expérimentaux sont présentés en annexe A et la courbe définissant la charge maximale est donnée à la figure 8.

3.2.2 CALCUL DE LA CAPACITÉ DE LA POMPE

Le diamètre des vérins a été fixé à 12,7 cm (5 po) afin d'obtenir la poussée nécessaire; la course de 2,36 m (93 po) permet d'obtenir un angle de près de 36 degrés.

Le volume d'huile nécessaire à une montée complète est:

$$\text{Vol.} = \frac{4 \times \pi \times 12{,}7^2 \times 236}{4} = 119{,}7 \text{ litres (31,61 gpm)}$$

Avec une pompe d'une capacité de 113 litres/minute (30 gpm), le temps théorique de levage est de:

Temps de levage = 60 x 119,7 / 113 = 63,2 secondes

Expérimentalement, le temps de levage a été mesuré à près de 70 secondes.

CRIQ

3.2.3 AUTRES ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES

Le schéma hydraulique donné à la figure 4 montre toutes les composantes du circuit hydraulique. Le rôle des principales pièces est décrit ci-dessous.

La pompe à débit compensé, de 113 litres/minute (30 gmp), est entraînée par un moteur à combustion interne contrôlé à une vitesse de 1800 rpm. Le régulateur de pression est ajusté à 13,8 MPa (2000 psi).

Des régulateurs de débit, ajustables par une commande à distance par câble, permettent de varier la vitesse de montée et de descente à partir du boîtier de commande.

Le diviseur de débit est composé de quatre pompes à engrenages ayant un arbre commun. Selon les pressions hydrauliques existant à la sortie de chaque circuit, les pompes à engrenages travaillent soit comme moteur hydraulique pour entraîner les autres engrenages ou soit comme pompe pour forcer le fluide contre les pressions les plus fortes. A l'arrêt, des clapets pilotés bloquent positivement les vérins et empêchent les fuites légères à travers le diviseur de débit, d'un circuit à l'autre.

Un régulateur de débit à pression compensée est installé sur chaque circuit des valves d'égalisation EQ1 à EQ4, ceci permet un débit correcteur constant quelque soit le niveau de pression dans le vérin en question. En plus de leur rôle de correction de la longueur des cylindres, les valves d'égalisation servent également à enlever les pressions résiduelles à la fin de la descente afin que tous les vérins puissent revenir librement à leur position initiale. Afin d'empêcher l'apparition de pressions excessives pouvant être générées lorsque le diviseur travaille comme intensificateur de pression, on retrouve un limitateur de pression à chaque sortie du diviseur.

Des valves parachutes sont installées à l'entrée de chaque vérin afin de bloquer la chute du cylindre en cas de bris d'une canalisation. Il s'agit uniquement d'une mesure de sécurité et ces valves n'ont aucun rôle actif en opération normale.

3.3 Installation

Les composantes hydrauliques sont toutes rassemblées sur un châssis commun que l'on nomme le groupe hydraulique;

CRIQ

seuls les vérins et les valves parachutes sont sur la table proprement dite. La figure 5 montre le groupe hydraulique.

Le manuel de l'usager (réf. 2) donne la liste des pièces utilisées ainsi que leurs spécifications techniques.

CRIQ

4.0 SYSTÈME ÉLECTRIQUE

4.1 Principe de fonctionnement

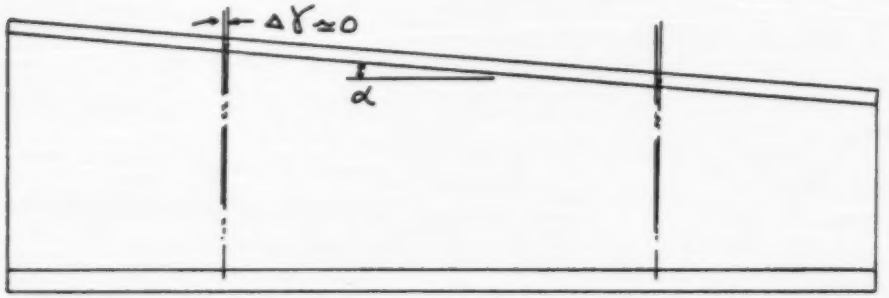
La figure 6 donne le schéma de principe du système électrique de la table de renversement.

4.1.1 COMMANDE DE "MONTÉE-DESCENTE"

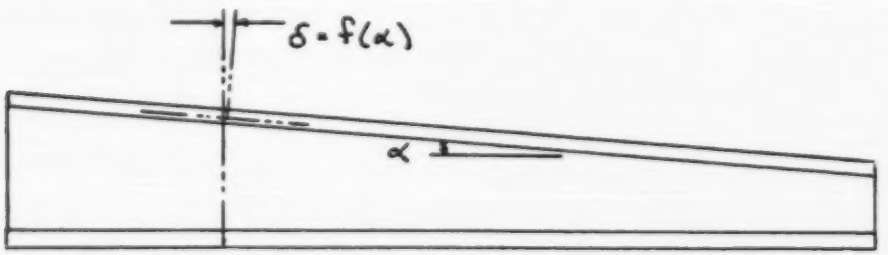
Les commandes de "montée" et de "descente" se donnent par des boutons-poussoirs que l'opérateur doit maintenir enfoncés; ce mode a été retenu pour plus de sécurité. De plus, un champignon d'urgence permet à l'opérateur de couper toute alimentation si un bouton se coince ou s'il désire arrêter le tout rapidement.

4.1.2 SYSTÈME DE CONTROLE DU NIVEAU ET DE LA SYNCHRONISATION DES DEUX PLATES-FORMES

Sur chaque plate-forme, il y a un système permettant de détecter si les deux vérins s'allongent ou se rétractent de la même façon. Ce système de détection est basé sur le fait qu'une torsion longitudinale de la plate-forme entraîne très peu de rotation des vérins dans le sens longitudinal comme l'illustre le croquis suivant:



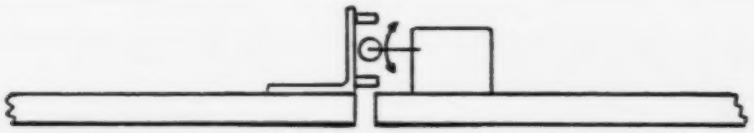
Si on attache une longue aiguille au tourillon du vérin, donc solidaire de la plate-forme, on peut apprécier le changement d'inclinaison de la plate-forme par le mouvement de l'aiguille relativement au vérin.



CRIQ

En attachant des interrupteurs à un vérin et en les actionnant par l'aiguille fixée au tourillon, on obtient un système très sensible qui détecte le changement de niveau par rapport au niveau initial. On peut donc commander les valves d'égalisation correspondant au vérin trop long pour obtenir le retour au niveau initial.

La synchronisation des deux plates-formes est plus simple car dans ce cas il est plus facile de mesurer la différence de hauteur. Un interrupteur à double action est fixé à une plate-forme et des ergots d'actuation sont attachés à la plate-forme voisine.



Lorsque, durant le mouvement des plates-formes, il apparaît une différence de hauteur, l'interrupteur détecte quelle plate-forme est trop haute et les valves d'égalisation des deux vérins de cette plate-forme trop haute sont ouvertes jusqu'à ce que la différence de hauteur reviennent moindre que le seuil de détection de l'interrupteur.

Un ensemble d'interrupteurs auxiliaires montés de façon similaire avisent l'opérateur lorsque l'inclinaison longitudinale de chaque plate-forme ou la différence de hauteur entre les deux plates-formes excèdent des limites pré-établies.

4.2 Installation

Les pièces électriques sont regroupées dans deux boîtiers principaux, soit le bloc de contrôle et la boîte de jonction principale. La figure 7 montre l'ensemble des équipements électriques de la table de renversement et le raccordement boîte à boîte.

La liste des pièces utilisées, de même que leurs spécifications techniques, sont données dans le manuel de l'usager (réf. 2).

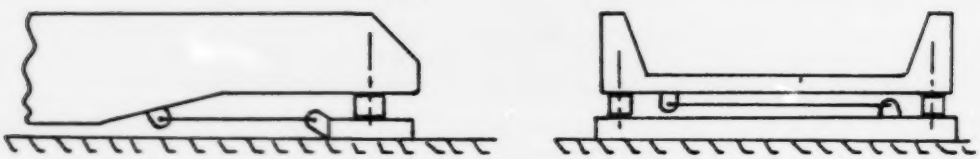
CRIQ

5.0 PLATEAUX DE PESAGE

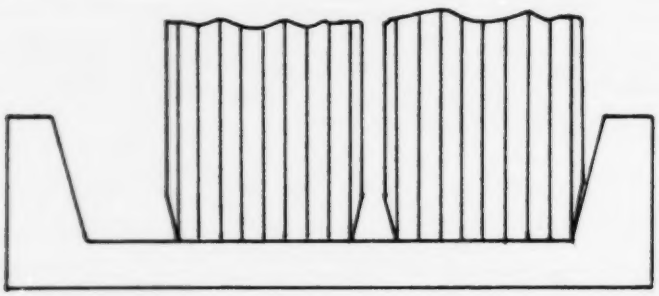
5.1 Conception

Les plateaux de pesage sont composés d'une plate-forme prévue pour recevoir les pneus des véhicules et supportée par des cellules de charge au quatre coins.

Les cellules sont installées de façon à mesurer uniquement les forces perpendiculaires à la surface du plateau. A cette fin, des tiges de réaction longitudinales et transversales prennent toutes les forces parallèles à la surface du plateau laissant seulement les forces perpendiculaires à cette dernière agir sur les cellules. Le schéma suivant illustre l'installation d'une cellule.

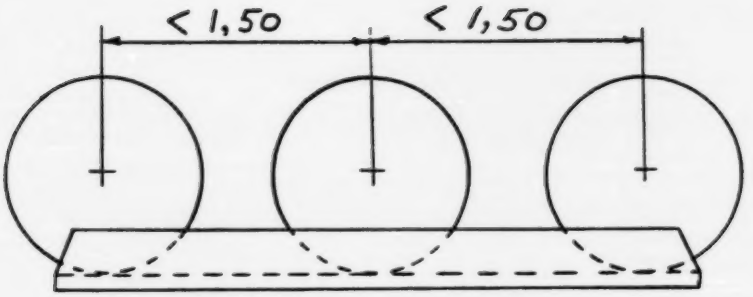


Les rebords des plateaux sont relevés afin d'empêcher les pneus de glisser lors d'un renversement; ils permettent également de donner une excellente rigidité longitudinale au plateau tout en conservant un poids relativement léger.



Chaque plateau mesure 3,35 m (11 pi) de longueur par 1,07 m (42 po) de largeur; la voie de roulement a elle-même 92 cm (36 po) de largeur. On peut y installer un groupe de trois essieux si ceux-ci ne sont pas espacées de plus de 1,50 m (60 po).

CRIQ



5.2 Capacité de chaque plateau de pesage

Chaque plateau de pesage est supporté par quatre cellules d'une capacité de 11 400 kg (25 000 lb) pour une capacité maximale de 45 400 kg (100 000 lb) avec une charge uniformément répartie. Cependant, il faut prendre en considération les deux conditions suivantes:

- Le déplacement longitudinal de la charge limite la capacité à celle de deux cellules car la résultante des charges peut être vis-à-vis deux cellules.
- Lorsque le véhicule est incliné, au point de renversement, la charge totale des essieux est transportée sur le plateau du côté bas et la plus grande partie de celle-ci est supportée par les cellules du côté bas du plateau lui-même.

On a calculé que la charge maximale possible sur un plateau était celle de trois essieux supportant un total de 30 000 kg; évidemment les cellules peuvent fonctionner avec 150% de surcharge et tolérer jusqu'à 300% de surcharge sans bris.

Les spécifications techniques des cellules de charge et le câblage des plateaux sont donnés dans le manuel de l'usager (réf. 2).

CRIQ

6.0 DESSINS

6.1 Dessins de la structure

La structure de la table de renversement est détaillée dans les dessins CRIQ nos:

368-00-00	1 de 2	Table de renversemenet
368-00-00	2 de 2	" " "
368-01-00	1 de 2	Plate-forme soudée
368-01-00	2 de 2	" " "
368-02-00	1 de 1	Base soudée
368-04-00	1 de 1	Rampe
368-05-00	1 de 1	Fléchette
368-07-00	1 de 1	Attaches de camions et remorques
368-08-00	1 de 2	Boîtier de détection de niveau
368-08-00	2 de 2	" " " " "
368-09-00	1 de 1	Détecteur
368-00-03	1 de 1	Vis du cric
368-00-04	1 de 1	Pied du cric
368-00-05	1 de 1	Penture
368-00-06	1 de 1	Support du cylindre gauche
368-00-07	1 de 1	Attache du cylindre
368-00-08	1 de 1	Axe du cylindre
368-00-09	1 de 1	Plaque de renfort
368-00-10	1 de 1	Axe 1½" de penture
368-00-11	1 de 1	Support du cylindre droit

6.2 Dessins des plateaux de pesage

La construction des plateaux de pesage est détaillée aux dessins CRIQ nos:

368-03-00	1 de 3	Plateau de pesage
368-03-00	2 de 3	" " "
368-03-00	3 de 3	" " "

6.3 Dessins du système électrique

Le système électrique est décrit par les dessins CRIQ suivants:

368-00-02	1 de 3	Schéma électrique
368-00-02	2 de 3	Liste de matériel
368-00-02	3 de 3	Liste de matériel

6.4 Dessins du système hydraulique

Le schéma de principe du système hydraulique est donné par le dessin CRIQ no:

368-00-01	1 de 1	Schéma hydraulique

7.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La table de renversement construite pour Transports Canada a été utilisée pour réaliser une série d'essais de renversement dans le cadre d'une Étude sur les Poids et Dimensions des Camions. Même si à cette époque, les dernières améliorations n'avaient pas été apportées au système hydraulique et au système de détection du niveau, le comportement de la table a été très bon. En plaçant le véhicule de façon à bien répartir les charges entre les deux plates-formes, les techniciens ont obtenu une excellente synchronisation des vérins et, en aucun temps, la différence d'inclinaison latérale des plates-formes ne fut plus grande que ½ degré.

Après les essais, le problème de la synchronisation des vérins en fonction de la position du véhicule a été corrigé en ajoutant des régulateurs de débit à compensation de pression et en améliorant la précision des détecteurs de niveau. Il a alors été démontré que même dans des conditions extrêmes de température et de charge, chaque plate-forme de 12,2 m maintenait son niveau à mieux que 7,5 cm (3 po) d'erreur par rapport à la base.

Suite à notre expérience avec cette table de renversement, nous aimerions faire ici quelques recommandations qui pourraient être utiles si l'on désirait construire une nouvelle table. Tout d'abord, la synchronisation de plusieurs vérins hydrauliques sera toujours difficile et nous croyons que l'utilisation de longues tiges filetées (filets acmés) remplacerait avantageusement les vérins hydrauliques. Même si plus dispendieuses au départ, elles assureraient une synchronisation parfaite et épargneraient du temps en opération. De plus, toujours pour garantir le mouvement synchronisé des plates-formes, ces dernières devraient être conçues avec les vérins localisés à leurs extrémités et non au quart de la longueur comme dans la présente table. La structure serait quelque peu plus lourde mais on y gagnerait sur la précision de l'inclinaison. On exigerait moins de précision sur la longueur des vérins et on éviterait la surcharge d'un vérin lorsque les essieux du véhicule sont près d'une extrémité.

Si l'on retenait quand même des vérins hydrauliques, des vérins à double action permettraient une descente plus

CRIQ

positive spécialement à basse température et sans charge. L'alimentation hydraulique devrait se faire par le centre de la table et chaque ligne d'alimentation des vérins ajustée à la même longueur afin d'obtenir une réponse identique de chaque vérin.

En tout temps, une table de renversement est opérée à basse vitesse et c'est une erreur de prévoir un système hydraulique de base capable d'incliner une table de 35 degrés en 60-70 secondes. En pratique, la table a toujours été opérée à vitesse lente et on ne s'est jamais servi de l'ajustement de vitesse commandé à distance. On devrait simplement prévoir des contrôleurs de débit pour la montée et pour la descente à ajuster lors de la mise en route mais sans commandes à distance.

Le fait que la table soit composée de deux plates-formes est évidemment très intéressant vis-à-vis son déménagement. Cette configuration pourrait également nous permettre de soumettre les véhicules à des torsions en modifiant la commande des cylindres à condition que la table soit pivotée au centre des voies de roulement. Ceci implique une table plus haute, mais il serait intéressant d'étudier cette possibilité pour une prochaine table.

En conclusion, la table actuelle permet la mesure facile du seuil de renversement de tous les véhicules lourds que l'on retrouve sur nos routes et nous sommes confiants qu'elle rendra de précieux services pendant de nombreuses années.

CRIQ

RÉFÉRENCES

1- Bédard, Jean T., "Table de renversement - Manuel de l'usager", Transports Canada, Centre de développement des transports, rapport no TP 7522F, mars 1986.

2- Sauvageau, Claude, "Vérification de la résistance d'une table de renversement de camion", Centre de recherche industrielle du Québec, rapport no PRT-85-068, juin 1985.

CRIQ

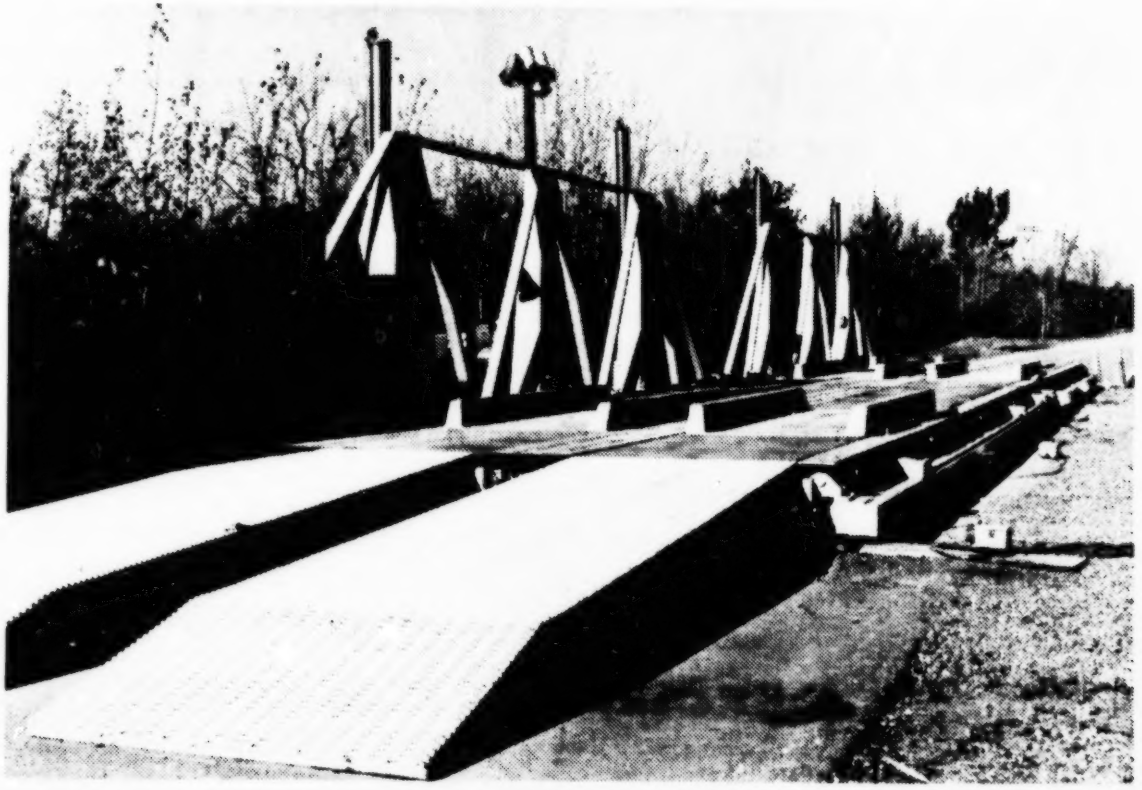
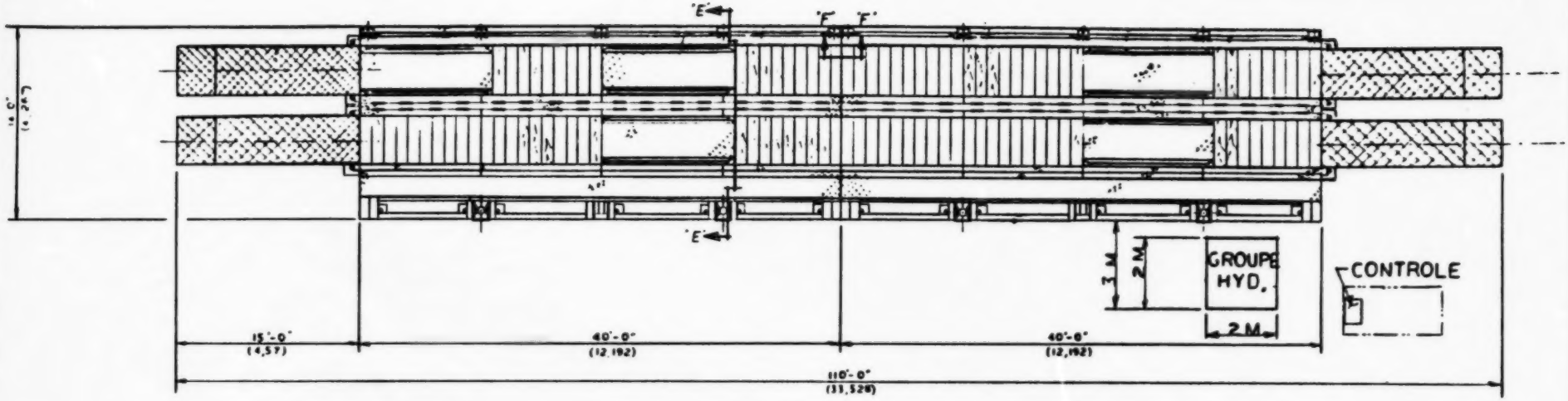


FIGURE 1: TABLE DE RENVERSEMENT



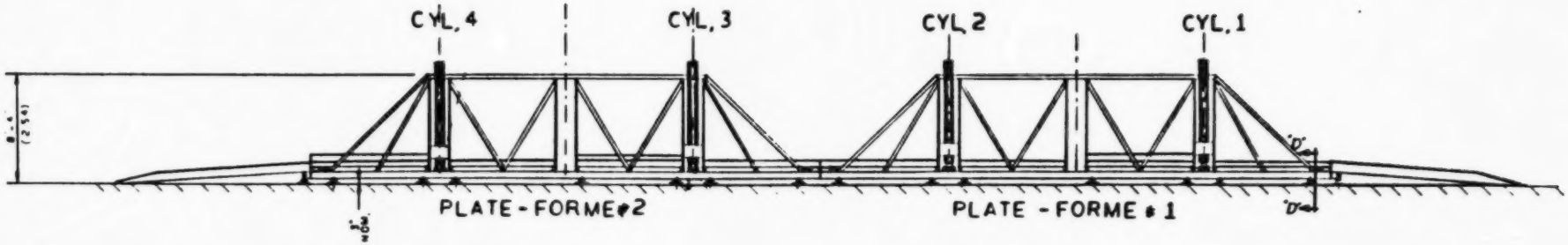


FIGURE 2: Ensemble général de la table de renversement.

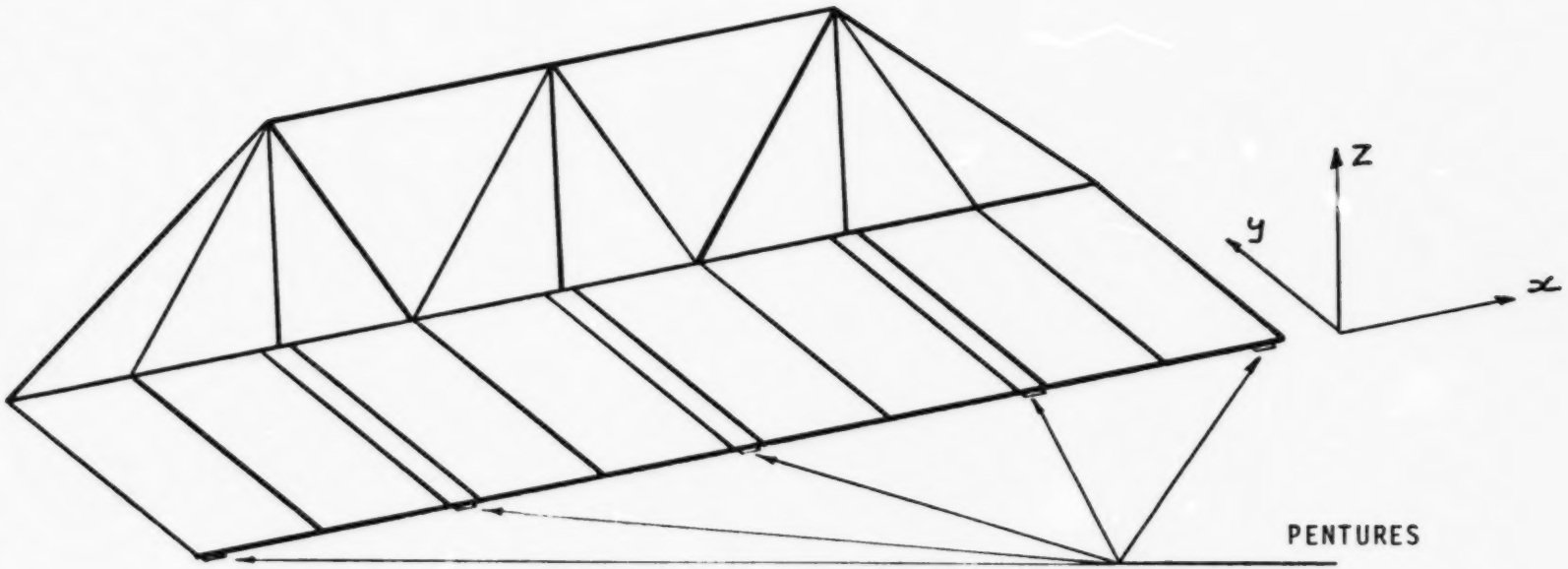


FIGURE 3: STRUCTURE PRINCIPALE D'UNE PLATE-FORME

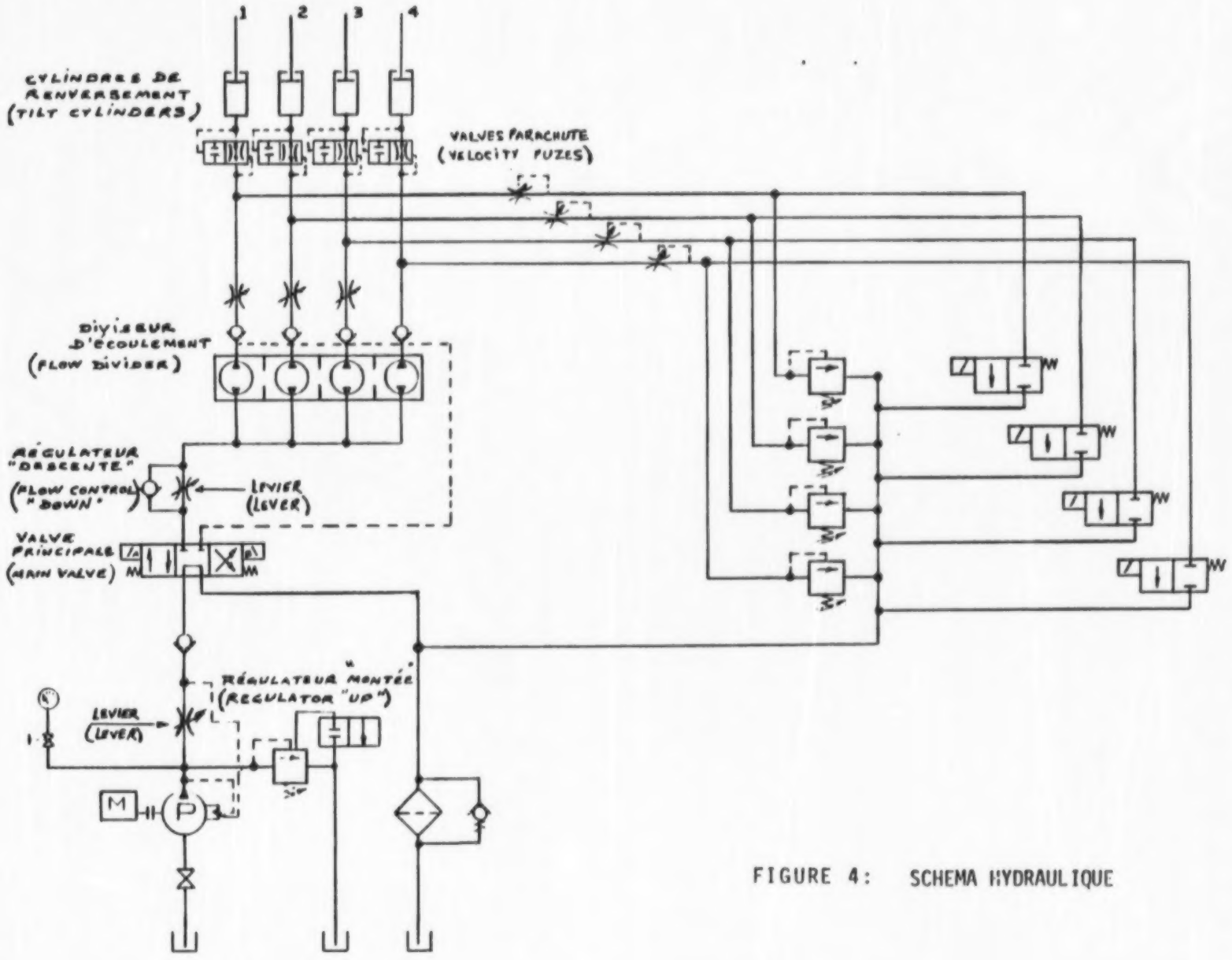


FIGURE 4: SCHEMA HYDRAULIQUE

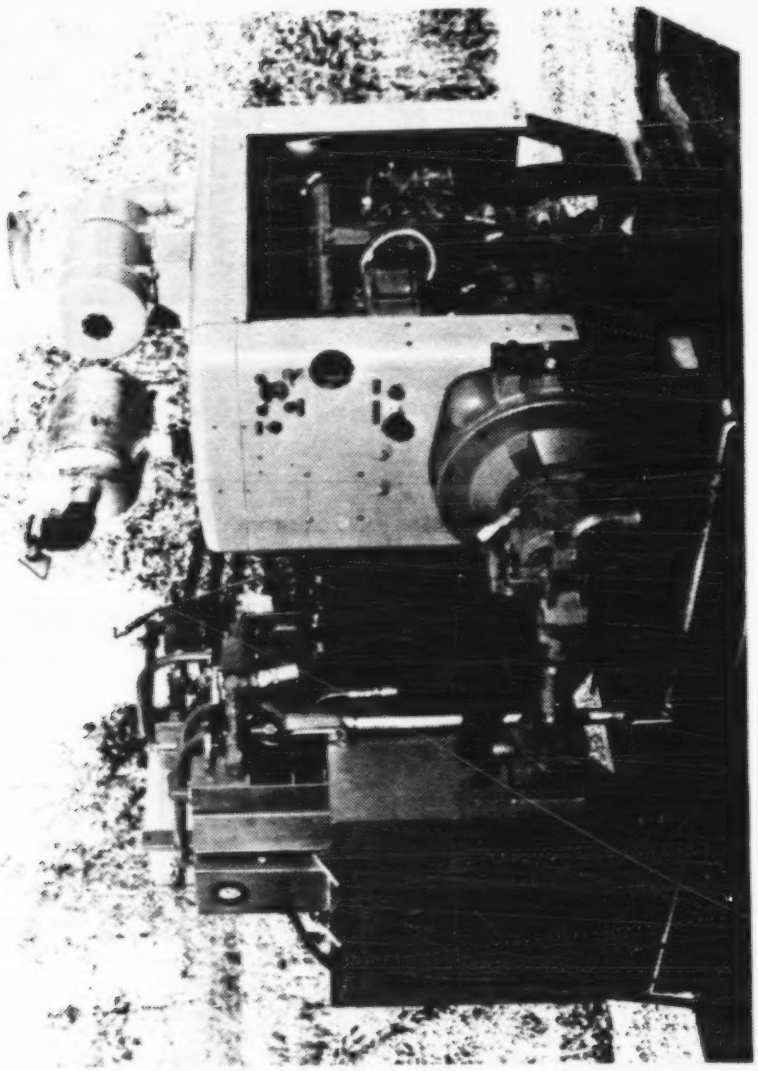
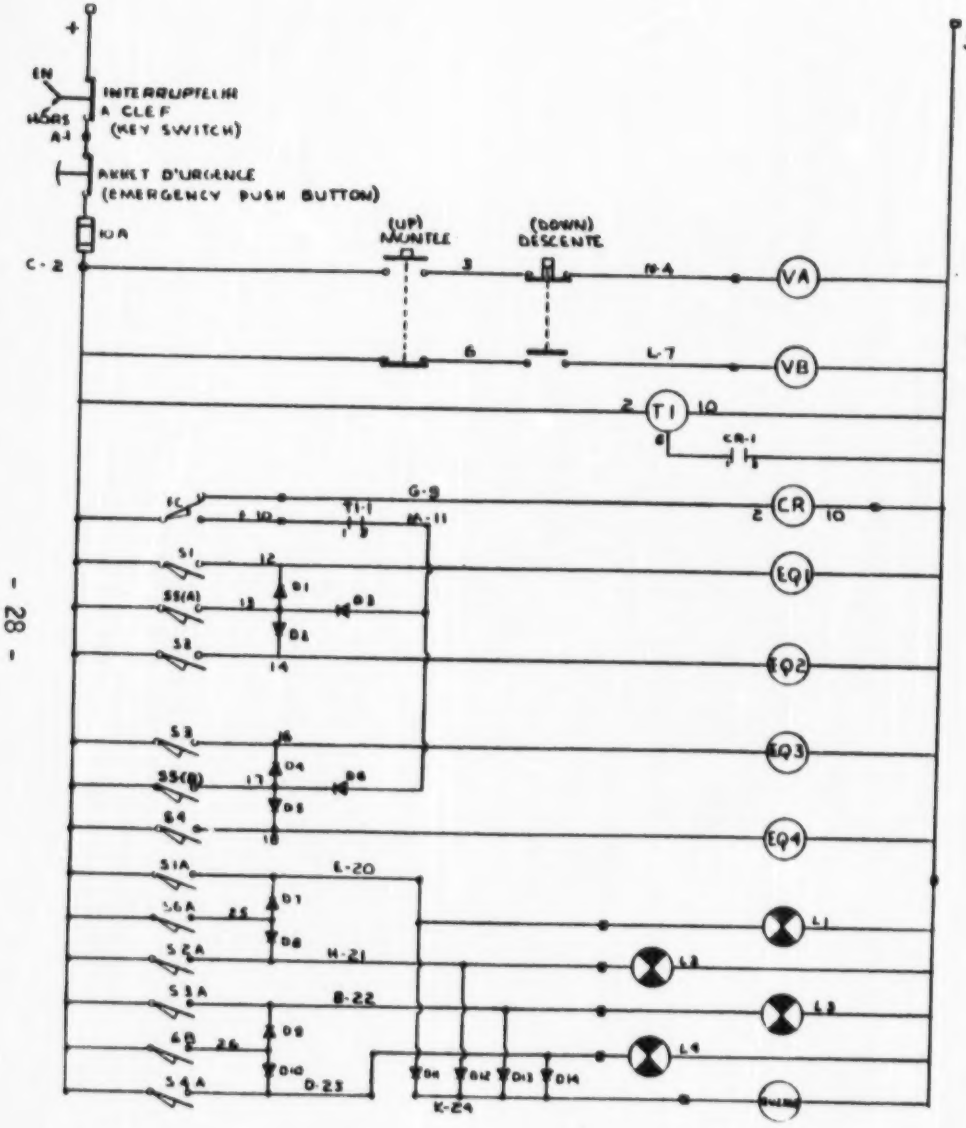


FIGURE 5: GROUPE HYDRAULIQUE



ITEM	LOCALISATION	DESCRIPTION	QTE
	B'te de raccord't Junction box	Interrupteur à clé Key switch	1
	B'te de contrôle Control box	Arrêt d'urgence Emergency push button	1
	"	Fusible 10 A 10 A fuse	1
H	"	Bouton poussoir "MONTEE" "UP" push button	1
D	"	Bouton poussoir "DESCENTE" "DOWN" push button	1
VA-VB	Groupe hydraulique Hydraulic group	Electrovalve "MONTEE-DESCENTE" Electrovalve "UP-DOWN"	1
T1	B'te de contrôle Control box	Relais temporisé Timer	1
CR	"	Relais de contrôle Control relay	1
FC	Centre table Center of table	Interrupteur de fin de course Limit switch	1
S1-S2	B'te synch. cyl. #3 Synch. box cyl. #3	Interrupteur de contrôle du niveau Level control switch	2
S3-S4	B'te synch. cyl. #3 Synch. box cyl. #3	Interrupteur de contrôle du niveau Level control switch	2
S5	Centre la table Center of table	Interrupteur de synchro. des plateformes Plateforme synchro. switch	1
S6	"	Interrupt. limite de synch. des plateform. Plateforme synchro. limit switch	1
S1A-S2A	B'te synch. cyl. #3 Synch. box cyl. #3	Interrupteur limite de contrôle du niveau Level limit control switch	2
S3A-S4A	B'te synch. cyl. #3 Synch. box cyl. #3	Interrupteur limite de contrôle du niveau Level limit control switch	2
EQ1 ... EQ4	Groupe hydraulique Hydraulic group	Electrovalve d'égalisation Equalizing electrovalve	4
L1 ... L4	B'te de contrôle Control box	Lampe témoin Pilot light	4
	"	Alarme sonore Buzzer	1
D1 ... D10	B'te raccordement Junction box	Diode Diode	10
D11 ... D14	B'te de contrôle Control box	Diode Diode	4

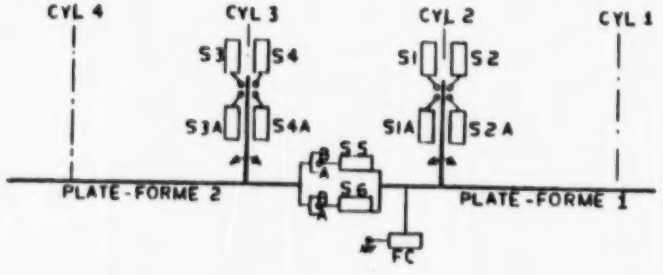


FIGURE 6: SCHEMA ELECTRIQUE

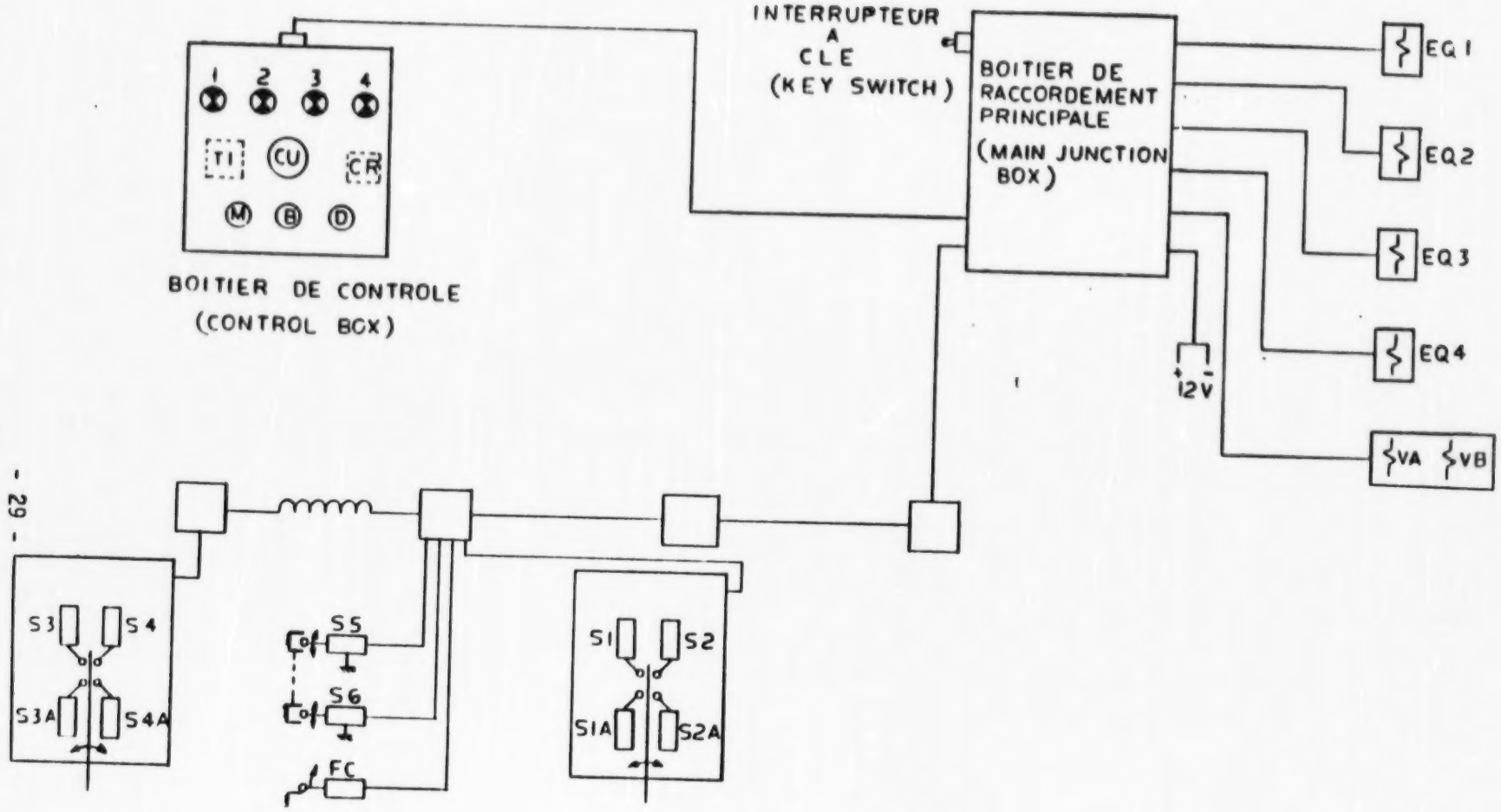


FIGURE 7: ENSEMBLE DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

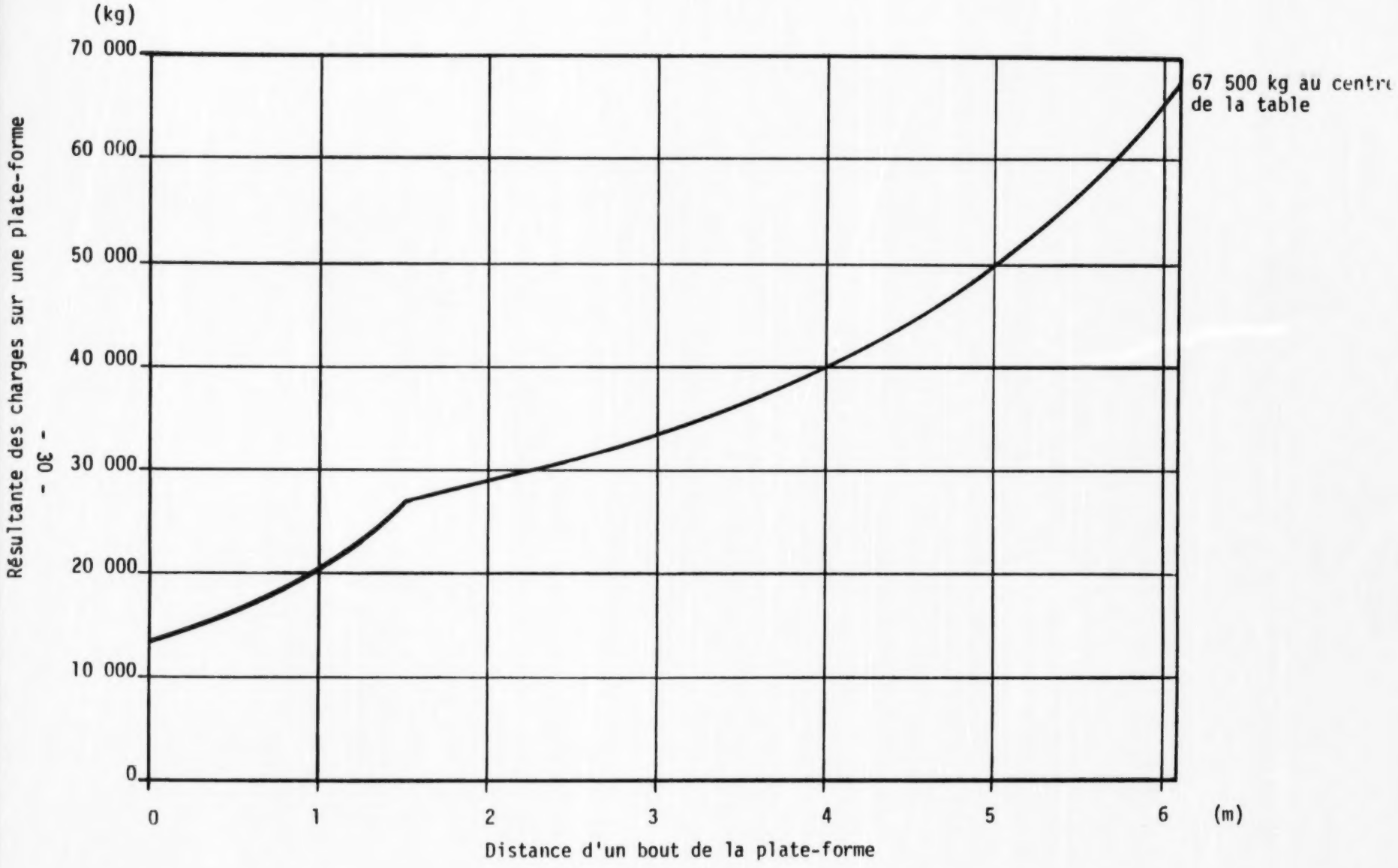


FIGURE 8 : Résultante maximale des charges sur une plate-forme en fonction de la position.

ANNEXE A

Table de renversement

Pression dans un cylindre vs position de la charge

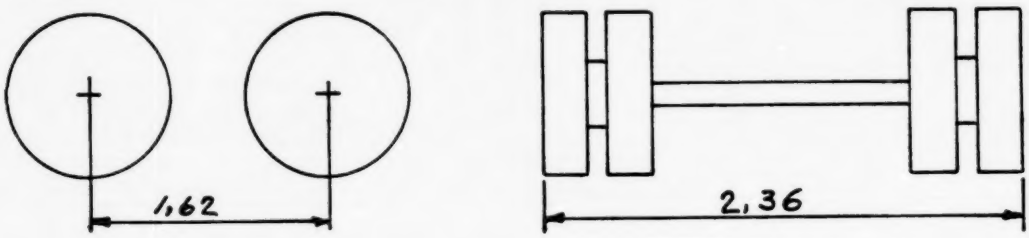
CRIQ

1. DESCRIPTION DES ESSAIS

Une jauge à pression a été installée immédiatement à la base du cylindre no 1, c'est-à-dire celui le plus près du groupe hydraulique. On a noté la pression maximale observée lors de la montée de la table pour les premiers 5 degrés seulement car la pression maximale est théoriquement atteinte au départ.

Comme charge, on s'est servi d'une semi-remorque pour laquelle on variait la charge sur le tandem arrière. Ce groupe d'essieux était la seule charge sur la plate-forme no 1 et le centre de ce groupe d'essieux fut placé à différentes positions longitudinales sur la plate-forme. La table était en condition normale d'opération avec 2 plateaux de mesure sur la bande de roulement supérieure et un plateau sur la bande basse. Ces trois plateaux étaient près du bout du cylindre no 1; le reste des bandes de roulement était recouvert des madriers prévus comme surface de roulement.

Le tandem servant de charge avait des essieux écartés de 1,62 m (64 po) et une largeur totale de 2,36 m (93 po); les 8 pneus étaient des 1100-R-22.5.



2. RÉSULTATS TABLE SANS CHARGE

Avec aucune charge sur la table, on a observé une pression de 320 psi lors de la montée et une pression de 315 psi lors de l'arrêt à 5 degrés d'inclinaison.

3. RÉSULTATS AVEC UNE CHARGE DE 16 100 KG

Les pressions mesurées lors de la montée et à l'arrêt à 5 degrés d'inclinaison avec une charge totale de 16 100 kg sur le tandem furent comme montré dans le tableau suivant:

CRIQ

Distance du bout de la table	Pression dans le cylindre no 1	
	Montée	Maintien à 5 degrés
6' 10"	1220 psi	1100 psi
6' 7"	1120 psi	1000 psi
10'	1090 psi	987 psi
20'	715 psi	679 psi
30'	465 psi	450 psi
36'	190 psi	-

4. RÉSULTATS AVEC UNE CHARGE DE 23 500 KG

Les pressions mesurées lors de la montée et à l'arrêt à 5 degrés d'inclinaison avec une charge totale de 23 500 kg sur le tandem furent comme montré dans le tableau suivant:

Distance du bout de la table	Pression dans le cylindre no 1	
	Montée	Maintien à 5 degrés
6' 8"	1600 psi	1390 psi
10'	1396 psi	1265 psi
20'	900 psi	866 psi
30'	430 psi	440 psi
36'	100 psi	170 psi

5. ANALYSE DES RÉSULTATS

5.1 Table à vide

La pression pour monter la table sans charge fut mesurée à 320 psi. D'un autre côté, les pressions observées avec la charge à 30 pieds donnent également la pression occasionnée par le poids propre de la table car la charge est alors centrée sur l'autre cylindre et elle n'a, en principe, aucun effet sur la pression dans le cylindre instrumenté. Nous avons alors mesuré 465 et 430 psi.

Il est difficile de mesurer précisément la pression lors de la montée à cause des effets dynamiques et on peut retenir une pression maximale d'environ 425 psi pour soulever le poids propre de la table.

5.2 Estimation de la capacité maximale de la table

Lorsque l'on considère les deux mesures de pression faites à 10 pieds du bout, c'est-à-dire avec la charge immédiatement en face du cylindre instrumenté, on peut écrire les deux équations suivantes:

Poids de la plate-forme + 16 100 kg = 1 090 psi x K1
Poids de la plate-forme + 23 500 kg = 1 396 psi x K1

CRIQ

La solution de ces deux équations donne que le poids de la table correspond à 424 psi dans les cylindres et que 24,2 kg de charge centrée sur un cylindre augmente sa pression de 1 psi. Avec ces valeurs, on estime la charge totale que pourrait prendre la table complète avec une pression maximale de 2000 psi à:

(pression max. - 424) x 24,2 x (2 cylindres) x (2 plates-formes) =
(2000 - 425) x 24,2 x 2 x 2 = 152 557 kg (335 625 lb)

Les résultats avec les charges centrées sur la plate-forme, distance de 20 pieds, permettent d'écrire les équations suivantes:

Poids de la plate-forme + 16 100 kg = 715 psi x K2
Poids de la plate-forme + 23 500 kg = 900 psi x K2

La solution de ces dernières équations donnent que le poids de la table correspond à 312,5 psi et qu'une charge de 40 kg au centre de la table augmente la pression de 1 psi dans chaque cylindre. En extrapolant ces valeurs pour une pression maximale de 2000 psi, on obtient une capacité maximale pour la table complète de:

(2000 - 312,5) x 40 x 2 = 135 000 kg (297 000 lb)

D'une façon pratique, on peut retenir une capacité maximale de 135 000 kg (300 000 lb) lorsque la charge est uniformément répartie sur toute la plate-forme, c'est-à-dire que chaque cylindre contribue également au soulèvement de la charge.

5.3 Limitations

Lors de la répartition longitudinale de la charge, il faut éviter qu'un cylindre soit appelé à supporter plus que sa capacité nominale même si l'amplification de pression du diviseur de débit permet d'excéder ces limites. Ainsi, selon les résultats obtenus à une distance de 6' 10" et 6' 8", on peut calculer qu'à cette distance, la charge maximale serait de 31 300 kg (68 800 lb).

Lorsqu'il y a seulement une charge sur la table et qu'elle est à l'extérieur des deux cylindres, on surcharge un des cylindres et on décharge l'autre. Il n'est pas souhaitable que la pression devienne négative dans un cylindre car il peut alors y avoir aspiration d'air et la montée et la descente seront difficiles à synchroniser. Les résultats à une distance de 36 pieds donnent que la charge à cette position

CRIQ

ne doit pas excéder 31 650 kg (69 600 lb) si on ne veut pas générer une pression négative dans le premier cylindre.

La capacité de chargement de chaque plate-forme est donnée par le graphique de la figure 8. Cette limite est imposée par l'apparition d'une pression négative dans le cylindre le plus éloigné pour des distances moins de 1,5 m (5 pi) et par une pression maximale de 2000 psi dans le cylindre le plus près.

CRIQ

ANNEXE B

Table de renversement

Contraintes mesurées sur la structure
de la table de renversement

CRIQ

Dix jauges extensométriques ont été installées sur la structure de la table de renversement aux endroits ayant démontré les contraintes les plus élevées lors des calculs par éléments finis. Les figures B1, B2 et B3 donnent la localisation des jauges.

Un tandem chargé de 16 100 et 23 500 kg fut déplacé le long de la plate-forme instrumentée et on nota les contraintes pour des inclinaisons de 0 et 5 degrés. Le tandem avait un espacement d'essieux de 1,62 m (64 po); la largeur hors tout des essieux était de 2,36 m (93 po) et les pneus étaient tous des 1100-R-22.5.

Les résultats sont donnés aux tableaux B1 à B4 des pages suivantes. Les contraintes mesurées sont toutes inférieures à 10 000 psi alors que la limite élastique du matériel utilisé est au minimum de 36 000 psi. On pourrait donc avoir un groupe d'essieux chargé avec plus de trois fois la charge d'essai de 23 500 kg avant d'atteindre la limite élastique. Les charges courantes de 30 000 kg par groupe de trois essieux répartissent la charge sur une zone plus grande et les contraintes aux endroits les plus sollicités seront moindres que 12 500 psi ce qui représente un facteur de sécurité de 2,8 par rapport à la limite élastique.

CRIQ

TABLEAU B2

CONTRAINTES (psi) MESUREES DANS LA STRUCTURE
DE LA TABLE DE RENVERSEMENT

CHARGE = 16 100 kg INCLINAISON = 5 degré

JAUGE no	DISTANCE DU BOUT DE LA PLATE-FORME				
	1,70m	3,05m	6,10m	9,15m	10,97m
1	974	0	-1 180	-207	679
2	6 638	3 540	1 033	561	826
3	6 461	5 546	1 505	590	649
4	-885	-1 328	561	-1 062	-856
5	-1 121	-738	-590	59	-118
6	-826	-649	-59	561	384
7	-1 092	-1 151	-767	-885	59
8	472	148	2 744	4 543	5 664
9	2 242	2 301	2 685	1 357	1 328
10	1 475	1 593	2 773	6 638	5 517

TABLEAU B3

CONTRAINTES (psi) MESUREES DANS LA STRUCTURE
DE LA TABLE DE RENVERSEMENT

CHARGE = 23 500 kg INCLINAISON = 0 degré

JAUGE no	DISTANCE DU BOUT DE LA PLATE-FORME				
	1,70m	3,05m	6,10m	9,15m	10,97m
1	59	-1 032	-2 006	-738	472
2	8 584	4 041	89	-148	-265
3	8 348	6 697	501	-89	-118
4	30	-855	1 180	354	-206
5	1 062	-855	-295	-177	30
6	-560	-442	-177	-59	148
7	-1 298	-1 445	-1 652	-885	-177
8	-3 068	-4 336	-3 274	-501	560
9	738	501	738	-2 773	-2 861
10	118	59	1 475	7 021	4 425

TABLEAU B4

CONTRAINTES (psi) MESUREES DANS LA STRUCTURE
DE LA TABLE DE RENVERSEMENT

CHARGE = 23 500 kg INCLINAISON = 5 degré

JAUGE no	DISTANCE DU BOUT DE LA PLATE-FORME				
	1,70m	3,05m	6,10m	9,15m	10,97m
1	1 445	-89	-1 475	-324	914
2	9 056	4 572	797	354	649
3	8 938	7 375	1 445	502	531
4	-1 150	-1 888	266	-767	-797
5	-1 445	-826	-502	30	-30
6	-1 092	-560	0	295	177
7	-1 652	-1 357	-1 357	-1 121	354
8	-1 032	-1 003	2 920	5 369	6 225
9	2 183	2 331	3 304	59	413
10	1 416	1 652	3 481	8 939	6 903

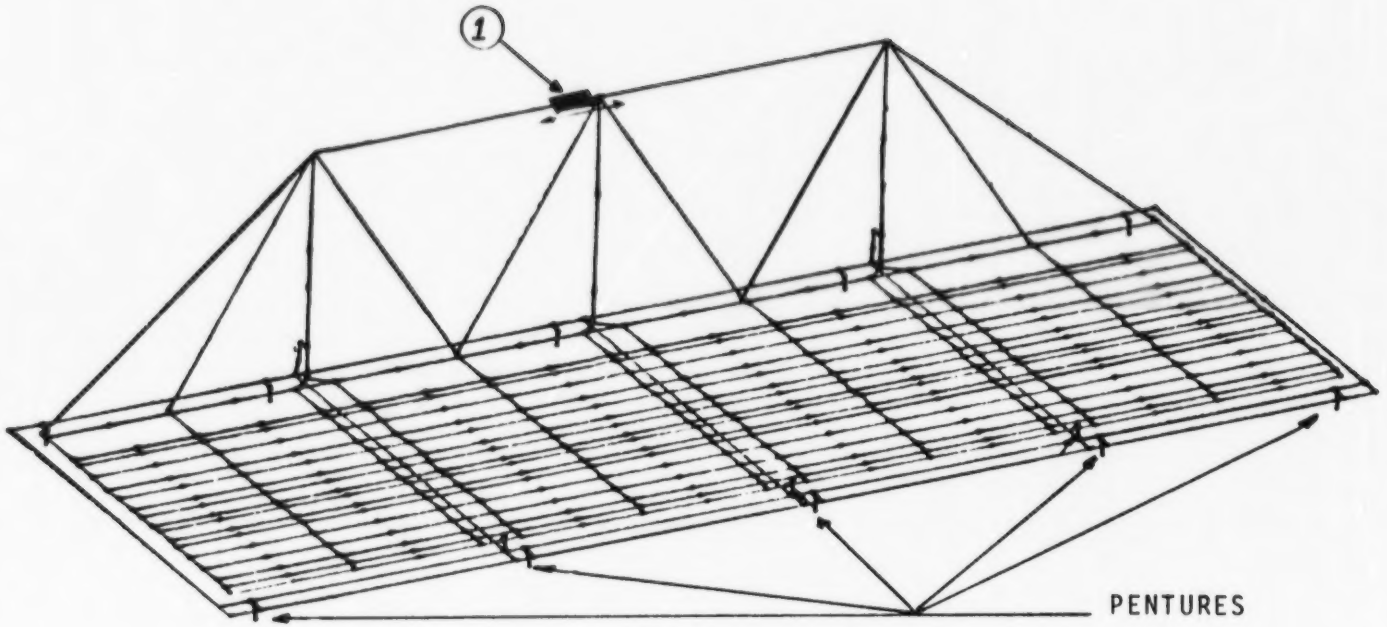


FIGURE B1: LOCALISATION DES JAUGES EXTENSOMETRIQUES

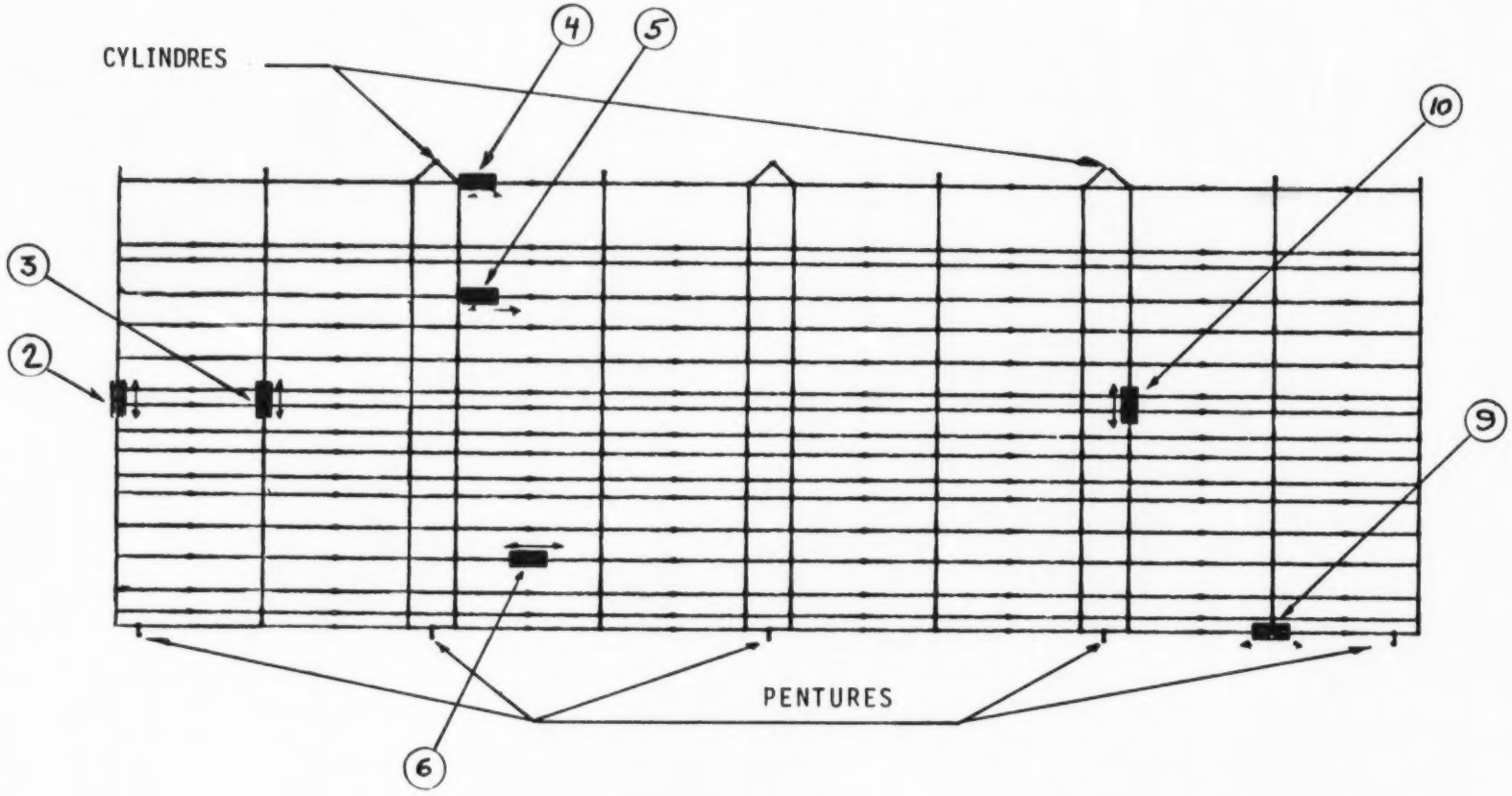


FIGURE B2: LOCALISATION DES JAUGES EXTENSOMETRIQUES

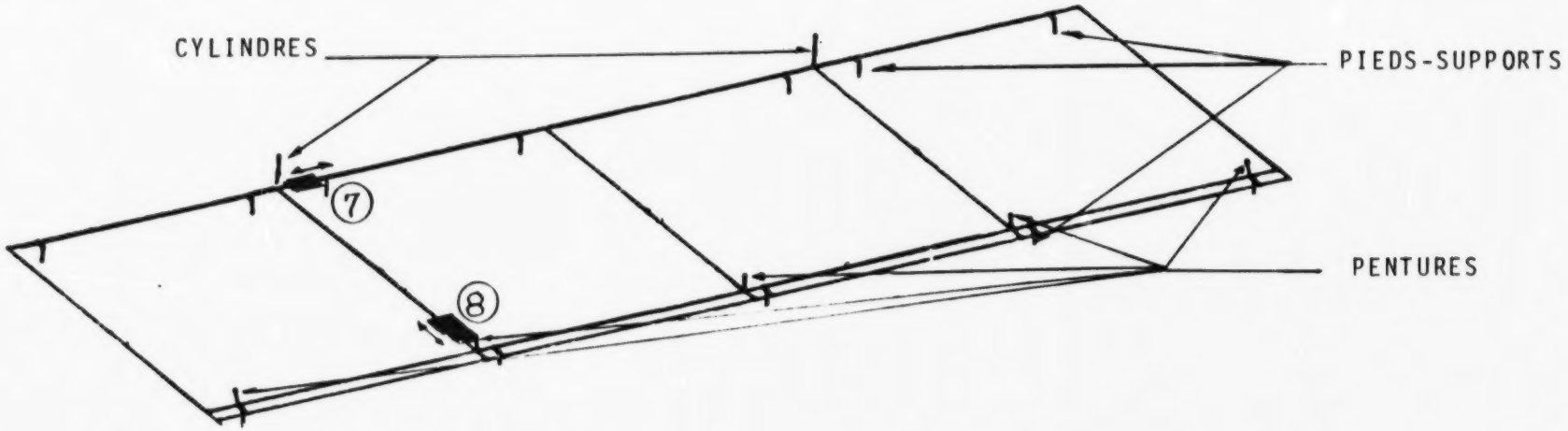


FIGURE B3: LOCALISATION DES JAUGES EXTENSOMETRIQUES